

В данной статье рассмотрены вопросы моделирования надежности работы осветительных приборов, приведен пример расчета надежности освещения.

УДК 628.98

А.В. Сапрыка, к.т.н., доц.

П.П. Рожков, к.т.н., доц.

В.А. Сапрыка, аспирант

Харьковская национальная академия городского хозяйства

## АНАЛИЗ МОДЕЛИ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ

Надежная работа осветительных установок имеет немаловажное значение в общем балансе электропотребления. Сегодня на искусственное освещение в Украине потребляется более 15% электроэнергии, вырабатываемой всеми электростанциями страны, поэтому моделирование надежности работы осветительных приборов является актуальным.

Надежность действия осветительных приборов очень важна как с точки зрения бесперебойности производства, так и с точки зрения борьбы с травматизмом, которая обеспечивается надежными и одновременно простыми схемами электроснабжения и управления. Для исследования электрических процессов в электротехническом оборудовании, а также процессов в системах электроснабжения и управления, используются экспериментальные методы, а также методы моделирования. Эффективным средством математического моделирования является структурное моделирование, при котором модель объекта строится в виде структурной или логической схемы. Многие электрические и тепловые задачи в электротехнологиях являются нелинейными [1-4]. В Украине специальные исследования, направленные на изучение надежности и качества освещения, особенно в современных осветительных приборах, проводились довольно редко. Известно, что оценка надежности базируется на обширном статистическом материале и моделях надежности, которые позволяют прогнозировать изменения уровня надежности во времени и оценивать влияние ремонтно-профилактических работ на показатели надежности.

Целью работы является построение и исследование модели надежности работы осветительных приборов.

Надежность, срок эксплуатации и другие характеристики разрядных источников света существенно зависят от системы “Лампа-ПРА-Светильник”. Анализ характеристик нагрузки разными типами балластов показал, что значения светового потока в течение срока эксплуатации для системы “Лампа-ПРА” отличаются от соответствующих данных, которые обычно приводятся в каталогах для лампы, работающей в номинальном режиме [5]. Степень отличия определяется отклонением мощности лампы от номинальной, которое в свою очередь определяется характеристикой кривой балласта и характером изменения напряжения на лампе в течение срока эксплуатации. Срок эксплуатации ламп в светильниках существенно меньше, чем при испытаниях на стенде потому, что повышение напряжения на лампе в арматуре светильника за счет отраженного ИК-излучения достигает 6-10В и определяется периодом, за который напряжение на лампе растет от 100 до 160 В.

В [6] приведены данные о взаимном влиянии параметров лампы типа ДНаТ, ПРА и светильников. Показано, что напряжение на натриевых лампах в течение срока эксплуатации растет в среднем на 1,2 В за каждую 1000 часов работы. Это связано с такими причинами: испарением металла из электродов и осаждением его в приэлектродной области; потерей  $Na$  в результате реакции с материалом колбы; повышением температуры разряда за счет энергии, отраженной от светильника. Увеличение длительности горения натриевых ламп можно достичь несколькими способами. В первую очередь это достигается за счет

повышения качества электроэнергии. В [6] показано, что для ламп ДНаТ-250 комплект “Лампа-ПРА” работает надежно только в случае отклонения напряжения не более чем на 5% от номинального напряжения. В случае эксплуатации ДНаТ в сетях с большими отклонениями предлагается решать вопрос ограничения мощности ламп путем применения специальных устройств стабилизации напряжения сети или применением ПРА, которые предназначены для эксплуатации в сети с напряжением, отличающимся от номинального. Для повышения длительности горения ламп можно использовать комплект “Лампа-ПРА” с напряжением питания 240В. В этом случае световой поток ламп, включенных в сеть с напряжением питания  $U_c = 220В$ , будет более низким на 25%, но срок эксплуатации вырастет почти в 2 раза. Например, для ДНаТ мощностью 100 Вт реальный срок использования вырастет с 3000 до 6000 ч.

Влияние светильника иллюстрируется зависимостями роста напряжения на лампе в процессе горения, приведенными в работе [5], из которой следует, что неудачная конструкция светильника может сократить срок эксплуатации вдвое. Изучение влияния вибрации на надежность работы разрядных ламп показало, что лампы нормально работают, если вибрации создают ускорения, которые не превышают 2 м/с.

Необходимость построения модели надежности “Лампа - ПРА - Светильник” обусловлена взаимосвязью элементов, которые влияют не только на начальные характеристики, но и на их последующие эксплуатационные параметры: длительность и надежность работы, спад светового потока и др. Основной единицей светотехнического оборудования системы городского освещения является световой прибор, который состоит из лампы, пускорегулирующего аппарата и светильника. Структурная схема системы светового прибора представлена на рис. 1.

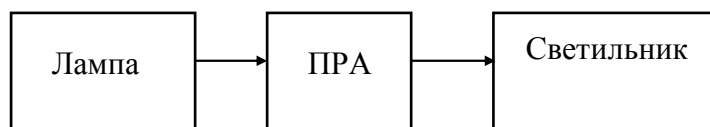


Рис. 1 – Структурная схема системы светового прибора

Вероятность безотказной работы осветительного прибора в значительной степени определяется состоянием рабочей поверхности защитного стекла светильника, которая вследствие неблагоприятных условий окружающей среды быстро теряет свою светопропускную способность.

В работе [7] приведено, что опыт эксплуатации городских сетей наружного освещения показывает, что интенсивность отказов ламп приблизительно составляет  $\lambda_{\text{л}} = 0,09$  1/год, интенсивность отказов ПРА –  $\lambda_{\text{ПРА}} = 0,001$  1/год, а вот интенсивность отказов светильника имеет достаточно сложную зависимость от времени, и отказ (потеря светопропускающей способности) может наступить в течение года. Для того чтобы отдалить момент отказа осветительного прибора, службе эксплуатации один раз в три месяца необходимо проводить периодическое профилактическое обслуживание (ремонт) осветительных приборов.

Дадим оценку величины интенсивности отказов осветительного прибора с учетом периодического профилактического обслуживания.

Если периодичность ремонта  $T_{\text{пл}}$ , то плотность распределения вероятностей для случайной величины – наработки на отказ в предположении идеального мгновенного ремонта (идеальный ремонт восстанавливает работоспособность в полной мере и показатели надежности можно считать такими же, как у нового изделия):

$$f^*(t) = \sum f_1(t - kT_{\text{пл}})P^k(T_{\text{пл}}) \quad (1)$$

$$f_1(t) = \begin{cases} f(t) & \text{при } 0 < t \leq T_{\text{пл}} \\ 0 & \text{при } t > T_{\text{пл}} \end{cases} \quad (2)$$

где  $k$  – номер предупредительного ремонта.

Пусть плотность вероятности наработки на отказ светильника является равномерной  $f(t) = 1 \text{ год}^{-1}$ , при  $0 < t \leq 1$  года. Периодичность предупредительных ремонтов  $T_{\text{пл}} = 0,25$  год.

В этом случае вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \int_t^\infty f(t)dt = \int_t^1 1 \cdot dt = t \Big|_t^1 = 1 - t \quad (3)$$

Отсюда

$$P(T_{\text{пл}}) = 1 - \frac{1}{4} = \frac{3}{4} \quad (4)$$

т.е. число работоспособных элементов в конце периода  $T_{\text{пл}}$  составляет 75% числа работоспособных элементов в начале периода  $T_{\text{пл}}$ .

$$\lambda(t) = \frac{\frac{d}{dt}[1 - P(t)]}{P(t)} = -\frac{\frac{dP(t)}{dt}}{P(t)} = \frac{1}{1 - t} \quad (5)$$

Построим график зависимости  $\lambda(t)$  от времени с учетом периодического профилактического обслуживания (рис. 2).

Из графика видно, что интенсивность отказов растет в течении  $T_{\text{пл}} = 0,25$  год., а затем вследствие мгновенного ремонта снижается до начальной величины  $\lambda(t) = 1 \text{ год}^{-1}$ . Таким образом, безотказность элемента существенно увеличивается при условии идеального мгновенного предупредительного ремонте или замены.

Вычислим среднее значение  $\lambda(t)$ :

$$\lambda_{cp}^* = \frac{1}{T_{пл}} \int_0^{T_{пл}} \lambda(t) dt = 4 \cdot \int_0^{0,25} \frac{dt}{1-t} = 1,151 \text{ год}^{-1} \quad (6)$$

На основании произведенных расчетов можно сделать вывод, что предупредительный ремонт приводит кривую роста интенсивности отказов к пилообразной форме с весьма небольшим размахом и это позволяет принимать в расчетах допущение, что  $\lambda(t) = \lambda_{cp}^* = \text{const}$ .

Полученный результат дает возможность вычислить интенсивность отказов осветительного прибора, как сумму интенсивностей отказов лампы, ПРА и светильника с учетом периодического профилактического обслуживания.

$$\lambda_{оп} = \lambda_{л} + \lambda_{ПРА} + \lambda_{св} = 0,09 + 0,001 + 1,151 = 1,242 \text{ год}^{-1}.$$

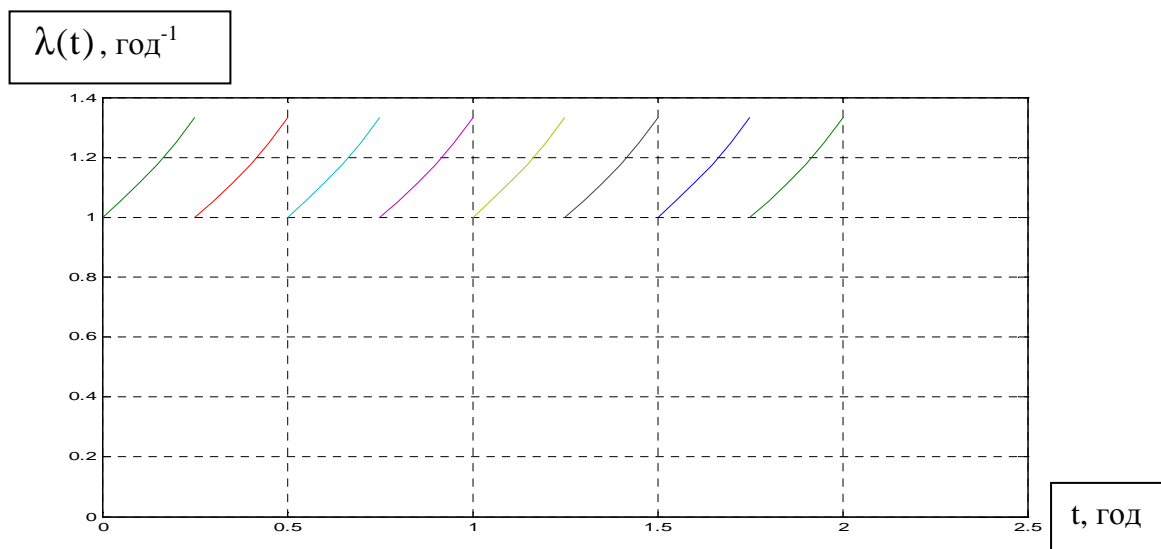


Рис. 2 – График зависимости интенсивности отказов от времени с учетом периодического профилактического обслуживания

Таким образом, полученная модель дает возможность рассчитать интенсивность отказов осветительного прибора.

#### Литература

1. Айзенберг Ю.Б. Справочная книга по светотехнике. – М.: Знак, - 2006. – 972с.
2. Гук Ю.Б. Теория надежности в электроэнергетике. – Л., Энергоатомиздат, 1990, 207с.
3. Рубцов В.П., Погребиский М.Я. Моделирование в технике- М.: МЭИ, 2008. - 101 с.
4. Харченко В.Ф. Щодо питання моделювання кривих сили світла світильників зовнішнього освітлення міст // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.58. Серия: Технические науки и архитектура.- К.: Техника, 2004.- С. 132-138.
5. Кожушко Г.М. Вплив деяких факторів на експлуатаційну надійність натрієвих ламп високого тиску// Коммунальное хозяйство городов: Межвед. науч.- техн. сб. Вып. 53 - К.: Техніка, 2003. - С.211-218.
6. Отчет НИР «Исследование качества электрической энергии в сетях наружного освещения г. Харькова» гос. рег. номер 107U00695.

7. Сапрыка А.В., Рожков П.П., Татьков В.П.. Оценка надежности системы наружного освещения // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.58. Серия: Технические науки и архитектура.- К.: Техника, 2009.- С. 236-241.

---

## АНАЛІЗ МОДЕЛІ НАДІЙНОЇ РОБОТИ ОСВІТЛЮВАЛЬНИХ ПРИЛАДІВ

О.В. Сапрыка, П.П. Рожков, В.О. Сапрыка

*У даній статті розглянуто питання моделювання надійності роботи освітлювальних приладів, наведено приклад розрахунку надійності освітлення.*

## THE ANALYSIS OF MODELS OF RELIABILITY OF THE WORK LIGHTING INSTRUMENTS

A.V. Sapryka, P.P. Rozhkov, V.A. Sapryka

*The questions of modeling of reliability of the work lighting instrument are considered in the article, an instance calculation to reliability of the illumination is cited.*